

5) Gravitační pole

Newtonův gravitační zákon

- Tělesa přitahují ostatní tělesa gravitační silou, která je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti těžišť těles a přímo úměrná jejich hmotnosti

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

- F_g gravitační síla
- G univerzální gravitační konstanta ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$)
- m_1 a m_2 hmotnosti těles
- r vzdálenost mezi těžišti těles
- Pohybuje-li se těleso o hmotnosti m kolem Země, jejíž poloměr je R_z a hmotnost M_z , ve výšce h nad jejím povrchem, působí na něj Země gravitační silou F_g o velikosti:

$$F_g = K \frac{m M_z}{(R_z + h)^2}$$

Gravitace

- vlastnost všech těles, která mají hmotnost m
- projevuje se existencí přitažlivých sil, které působí na ostatní hmotná tělesa v okolí
- gravitační silové působení mezi tělesy je vždy vzájemné

$$\vec{F}_{g1} = -\vec{F}_{g2} = \vec{F}_g$$

Intenzita gravitačního pole

- podíl gravitační síly, kterou působí pole na těleso a hmotností tohoto tělesa
- jednotka: $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$
- veličina popisující gravitační pole
- intenzita je vektor (směr je určen směrem síly, kterou působí pole na těleso \Rightarrow na Zemi do středu Země)
- **intenzita gravitačního pole v daném místě je rovna gravitačnímu zrychlení**

$$K = \frac{F_g}{m}$$

- definice intenzity: $\rightarrow F_g = K \cdot m$
- z II. NPZ: $F_g = a_g \cdot m$
- a_g ... gravitační zrychlení (**$a_g = K$**)
- s rostoucí vzdáleností klesá

Centrální (radiální) gravitační pole

- Intenzita gravitačního pole míří do středu tělesa
- Střed tělesa je gravitační střed centrálního pole

- Centrální gravitační pole vzniká kolem každého stejnorodého tělesa tvaru koule a v okolí hmotného bodu (Země lze považovat za kouli)
- Velikost intenzity gravitačního pole (Země) se s rostoucí výškou nad tělesem (Zemí) zmenšuje (**K je různé od konstanty**)

Homogenní gravitační pole

- Speciální případ centrálního (radiálního) gravitačního pole
- Veškeré vektory intenzity jsou všude stejně velké (zjednodušeno – v nevelkých vzdálenostech od povrchu Země se mění velice nepatrně)
- Pole má ve všech místech stejnou intenzitu gravitačního pole K (**K = konstanta**)

Gravitační a tíhová síla při povrchu Země

- **na každé těleso** na povrchu Země **působí přitažlivá gravitační síla**, která **směřuje přesně do středu Země**
- vyplývá z toho, že Země i my máme určitou hmotnost
- Země se otáčí kolem své osy \Rightarrow **na každé těleso** na povrchu Země **působí odstředivá (setrvačná) síla**
- směřuje ven od osy otáčení (spojnice severního a jižního pólu Země)
- tíhové zrychlení g závisí na zeměpisné šířce
- stanoveno normální tíhové zrychlení $g_n = 9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- **tíhová síla F_g je rovna vektorovému součtu gravitační síly F_g a setrvačné (odstředivé) síly F_s**

Vrhy

- složené pohyby z volného pádu a rovnoměrného přímočarého pohybu
- A) Vrh vodorovný**
- **pohyb skládající se z volného pádu a pohybu rovnoměrného přímočarého směřujícího vodorovně s povrchem Země**
 - trajektorii pohybu je část paraboly, jejíž vrchol je v místě vrhu
 - délka vrhu je závislá na počáteční rychlosti v_0 a na výšce h , ze které bylo těleso vrženo
 - např. kulička, která přejede hranu vodorovného stolu, výstřel z pušky ve vodorovném směru
- B) Vrh svislý vzhůru**
- **= pohyb složený z volného pádu a z pohybu rovnoměrného přímočarého směrem vzhůru**
 - tento vrch se koná, když je těleso vrženo počáteční rychlostí v_0 opačným směrem, než má tíhové zrychlení
 - pohyb tělesa vzhůru je pohyb rovnoměrně zpomalený

- rychlost klesá až na vrcholu trajektorie je nulová
- poté se těleso vrací volným pádem k Zemi

C) Šikmý vrh vzhůru

- **pohyb, který se skládá z volného pádu a pohybu rovnoměrně přímočarého šikmo k povrchu Země**
- délka závisí na počáteční rychlosti v_0 a na úhlu α , pod kterým bylo těleso vrženo
- využívá se v balistice (= věda zabývající se pohybem a účinkem střely), graf: balistická křivka

$$d = \frac{2v_0^2 \sin\alpha \cos\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

- ve vakuu – parabola
- ve vzduchu – balistická křivka
- balistická křivka je vždy kratší než parabola, protože ve vzduchu proti pohybu působí odpor prostředí
- Nejvyšší výšky dosáhne při elevačním úhlu 45°

Pohyby těles v centrálním gravitačním poli Země

- Trajektorie zasahují do velkých výšek od povrchu Země (resp. se jedná o pohyb na dlouhé vzdálenosti)
- mají velký význam v kosmonautice
- při těchto pohybech se mění K a a_g (nelze je považovat za konstantní)
- Vektory obou těchto veličin míří do středu Země
- v_0 ... počáteční rychlost
 - 1 ... velmi malá v_0 (těleso dopadne na povrch Země – obdoba vodorovného vrhu)
 - 2 ... větší v_0 (těleso na Zem nedopadne, ale opíše kolem Země elipsu)
 - 3 ... pro určitou v_0 těleso opisuje kolem Země kružnici (střed leží ve středu Země)
 - $v_0 =$ kruhová rychlost (v_k) – nejmenší rychlost, která udrží těleso na kruhové dráze kolem Země

Kosmické rychlosti

1. kosmická rychlost (kruhová)

- těleso opisuje kružnici se středem Země
- rychlost klesá s rostoucí vzdáleností planet od Slunce
- na těleso působí zemská gravitace F_g a dostředivá síla, která tento pohyb způsobuje

$$F_g = F_d$$

- pro velmi malou výšku: $v_k = 7,9 \text{ km} \times \text{s}^{-1}$ (dosazením hodnot pro povrch Země)
- při větších rychlostech těleso přechází na pohyb kolem Země po elipse, a to až do rychlosti v_p

2. kosmická rychlost (parabolická)

- = úniková rychlost
- při rychlosti $v_p = 11,2 \text{ km} \times \text{s}^{-1}$ se eliptická trajektorie mění na parabolickou a těleso se trvale vzdaluje od Země
- odpoutá se z gravitačního pole Země, ale zůstává nadále v gravitačním poli Slunce

3. kosmická rychlost

- po překročení rychlosti $v = 16,7 \text{ km} \times \text{s}^{-1}$ těleso opouští gravitační pole Slunce
- pro lety ve vesmíru – zákon setrvačnosti a gravitace (ve vakuu je nic nebrzdí) ⇒ motory se používají jen při startu, brzdění a korekcích kurzu
- Pro lety ve vesmíru – zákon setrvačnosti a gravitace (ve vakuu je nic nebrzdí) ⇒ motory se používají jen při startu, brzdění a korekcích kurzu

Keplerovy zákony

- určují pohyby těles v gravitačním poli Slunce (tedy planet, komet, ...)
- 1. Keplerův zákon**
 - zákon oběžných drah
 - „Planety obíhají kolem Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce.“
 - 2. Keplerův zákon**
 - „Obsahy ploch opsaných průvodičem planety za jednotku času jsou konstantní.“
 - průvodič = úsečka spojující planetu a střed Slunce
 - 1) afélium (A) – místo, v němž má těleso největší vzdálenost od Slunce
 - 2) perihélium (P) – místo, v němž má těleso nejmenší vzdálenost od Slunce
 - tento zákon nám dokazuje, že v oblasti afélie se těleso pohybuje nejpomaleji, v místě perihélie nejrychleji
 - 3. Keplerův zákon**
 - „Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos jejich trajektorií.“